



Üçboyutlu niceliksel yürüme analizi

Three-dimensional quantitative gait analysis

Güneş YAVUZER

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı

Yürüme analizi iskelet-kas sisteminde klinik incelemenin temel aşamalarından biridir. Yürüme çeşitli niteliksel ve niceliksel tekniklerle ölçülebilir. Bu yazıda yürümenin üçboyutlu niceliksel analizinin avantajları ve kısıtlılıkları tartışıldı.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; beyin felci; yürüme.

Gait analysis is one of the essential steps of clinical examination in musculoskeletal medicine. Gait can be measured by various qualitative and quantitative techniques. In this article, the advantages and limitations of three-dimensional quantitative gait analysis will be discussed.

Key words: Biomechanics; cerebral palsy; gait.

Normal yürüme sağlıklı bir sinir-kas-iskelet sisteminin son ürünüdür. Normal bir yürüme için, merkezi ve çevresel sinir sistemi (lokomotor üretici), kaslar ve iskelet kaldıraçları birbirleriyle ve görsel, propriyoseptif, bilişsel ve kardiyovasküler sistemlerle uyum içinde çalışmalıdır. Bu yapı ve fonksiyonlardaki herhangi bir bozukluk patolojik bir yürüme şekline neden olabilir. Bireyler yürüme becerilerini, seçici kontrollerinin izin verdiği ölçüde telafi edici (compensatory) mekanizmalarla korurlar. Temel patolojik durumun yol açtığı kısıtlamaları aşabilmek için alternatif hareket şekilleri ve kas hareketleri kullanılır. Ortaya çıkan yürüme şekli, yetersiz, aşırı, zamanlaması bozuk ya da faz dışı kas hareketlerinin de eşlik ettiği ancak bunlarla da sınırlı kalmayan, esas bozukluk ile telafi edici hareketlerin bir karışımıdır.^[1-8]

Yürüme analizi kas-iskelet muayenesinin temel aşamalarından biridir. Cerrahi, ortopedik ve terapötik öneriler genellikle klinik incelemeye ve gözlemsel yürüme analizine dayanır. Farklı patolojiler görünüşte benzer yürüme şekilleri oluşturabilir ve gözlemsel yürüme analizi de tedavi sonucu açısından hayal kırıklığı yaratabilir. Günlük uygulamalarımızda uzun yıllar bo-

yunca gözlemsel yürüme analizi kullanılmasına karşın, bu yöntemin daha karmaşık yürüme parametrelerinin tanınabilmesinde yetersiz olmasının birden çok nedeni vardır. Yürümenin karmaşık yapısı onun görsel olarak değerlendirilmesini zorlaştırır. İnsan gözü saniyenin 1/12'sinden (83 msn) daha kısa sürede gerçekleşen olayları algılayamaz ve aynı anda farklı düzlemlerdeki hareketi ayırt edemez. Bu durum, temel yürüme bozukluklarının telafi edici hareketlerden ayırt edilmesini zorlaştırır; örneğin, sadece koronal düzlemde gözlenen diz fleksiyonuyla femoral iç rotasyon, diz valgusu şeklinde yanlış yorumlanabilir. Ayrıca, gözlem keskinliği kişiden kişiye değişir ve gözlemsel yürüme analizinin başarısı yüksek oranda deneyime dayanır. Gözlemsel analiz yeterli değilse, hastayı videoya kaydedip kasedi birkaç kez yavaş çekimde veya kare kare izlemek yürüme şeklini değerlendirmek için yeterli olabilir.

Daha objektif bir değerlendirme üçboyutlu niceliksel yürüme analiziyle sağlanabilir.^[6] Kinematik, kinetik ve dinamik elektromiyografik değerlendirmeyi içeren üçboyutlu niceliksel yürüme analizinin geliştirilmesi, hekimlerin yürüme sapmalarını objektif olarak ayırt edebilmesini ve karmaşık bir bozuk-

Yazışma adresi / Correspondence: Dr. Güneş Yavuzer. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, 06100 Samanpazarı, Ankara. Tel: 0312 - 595 60 22 e-posta: gunesyavuzer@hotmail.com

Başvuru tarihi / Submitted: 20.01.2009 **Kabul tarihi / Accepted:** 10.03.2009

© 2009 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği / © 2009 Turkish Association of Orthopaedics and Traumatology

luğun arkasındaki ana sorunu gözlemsel analizden daha doğru bir biçimde anlayabilmesini sağlamıştır. Sadece tedavi sonucunu değerlendirmek için bir ölçüm aracı olarak değil, aynı zamanda fonksiyonel kısıtlılıkları nicelleştirerek uygulanacak girişimleri planlamada da yararlı bir araç olarak iş görür. Yürüme verileri ve ekibin uzmanlığı ile birleştirildiğinde, hastanın ayrıntılı öyküsü ve fizik muayenesi antispastik ilaçlar, ortotikler ve ameliyat yönünden klinik karar alma sürecine yardımcı olur.^[1-8]

Kawamura ve ark.^[9] geriye dönük bir çalışmada spastik diplejik beyin felçli (BF) 50 hastanın gözlemsel değerlendirme ve üçboyutlu niceliksel yürüme analizi verilerini karşılaştırmışlardır. Yazarlar, görsel analize dayanarak sadece ilk temasta diz fleksiyonu ve basma ortasında pelvis dizilim bozukluğunun güvenilir bir biçimde değerlendirilebileceğini bildirmişlerdir. Görsel analiz çeşitli derecelerde niceliksel değerlendirme gerektiren şu verilerin değerlendirilmesinde yeterli bulunmamıştır: Basma sonunda kalça fleksiyonu, basma sonunda diz ekstansiyonu, ilk salınımında diz fleksiyonu, ilk temasta ayak bileği dorsifleksiyonu, yüklenmeye yanıtta kalça adduksiyonu, pelvis rotasyonu, basma ortasında kalça rotasyonu ve ayak ilerleme açısı.

Üçboyutlu niceliksel yürüme analizi

Beyin felçli çocuklarda yürüme bozuklukları heterojendir ve invaziv tedaviler gerektirir. Bir çocuğun yürüme şeklini tanımlamak için yürüme analizine başvurmak, karmaşık yürüme anormalliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Desloovere ve ark.^[10] BF'li 200 çocukta yürüme analizi verileriyle hareket açıklığı, spastisite, güç ve seçicilik ölçümleri gibi klinik ölçümler arasındaki korelasyonu araştırmışlar, statik ve dinamik klinik ölçümlerin yürüme verileri üzerindeki birleşik öngörü değerini değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulgular, genel olarak zayıf korelasyon katsayılarına rağmen, hareket açıklığı ve spastisite ölçümleriyle karşılaştırıldığında, güç ve seçicilik klinik ölçümlerinin yürüme analizi verileriyle en yüksek anlamlı korelasyon sergilediğini göstermiştir. Buradan hareketle yazarlar, yürüme analizi verilerinin klinik ölçümlerle tam olarak öngörülemediği sonucuna varmışlar ve bu durumu şu nedenlere bağlamışlardır: Yürüme sırasında biartiküler kasların farklı davranışı; telafi edici mekanizmalar, eşzamanlı kontraksiyonlar, kas sinerjileri ve çoklu kısıtlamaların etkileşimleri, yürüme sırasında hız değişimi. Ekstremit içi ve ekstremitler arası koordinasyon, denge

sorunları ve düzlemler ve seviyeler arasındaki etkileşimlerin sadece klinik ölçümlerle tahmin edilemediğine dayanan yazarlar, BF'li çocuklarda klinik karar vermek için en iyi yöntemin klinik ölçüm altgrupları ile yürüme analizi verilerinin birlikte değerlendirilmesi olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Üçboyutlu niceliksel yürüme analizi laboratuvarı (Şekil 1) üç ana kısımdan oluşur: kinematik, kinetik ve dinamik elektromiyografik değerlendirme. Veri toplaması 1-2 saat, yürüme analizinin yorumlanması da 1-2 saat sürer. Hastaların boyu en az 1 metre olmalı ve laboratuvar uzunluğunu 5 veya 10 kez yürüyebilmelidir. Ayrıca, hastalar değerlendirmeyi yapan incelemecinin direktiflerini yerine getirmeye yetecek bilişsel beceriye sahip olmalıdır. Tipik bir üçboyutlu niceliksel yürüme analizi seansı hastanın hazırlanmasıyla başlar ve veri kaydı ve analizi ile devam eder. Hastanın hazırlanması sırasında boy, ağırlık, bacak uzunluğu ve diz ve ayak bileği eklemlerinin genişliği gibi antropometrik veriler toplanır. Önceden seçilmiş standart klinik yürüme analizi protokollerinden biri kullanılır ve vücudun modelinin çıkarılması için pasif yansıtıcı belirteçler belirli anatomik referans noktalarına yerleştirilir: Sakrum, iki taraflı spina iliyaka anterior superior, orta uyluk, lateral diz (rotasyon eksenine doğrudan lateral), orta baldır (diz markörü ve lateral malleollerin orta noktası), lateral malleoller, topuk ve ön ayak (ikinci ve üçüncü metatarsal başım arası). Bu konumlar ve ölçümlerin geçerliliği doğrulanmıştır.^[11]

Retroyansıtıcı belirteçler yerleştirildikten sonra, hastalar, yalınayak veya ayakkabıyla, eğer kullanıyorlarsa yürümeye yardımcı aletlerle, kendi seçtikleri hızda, 10 metrelik yürüme bandında birkaç kez



Şekil 1. Üçboyutlu niceliksel yürüme analizi laboratuvarı.

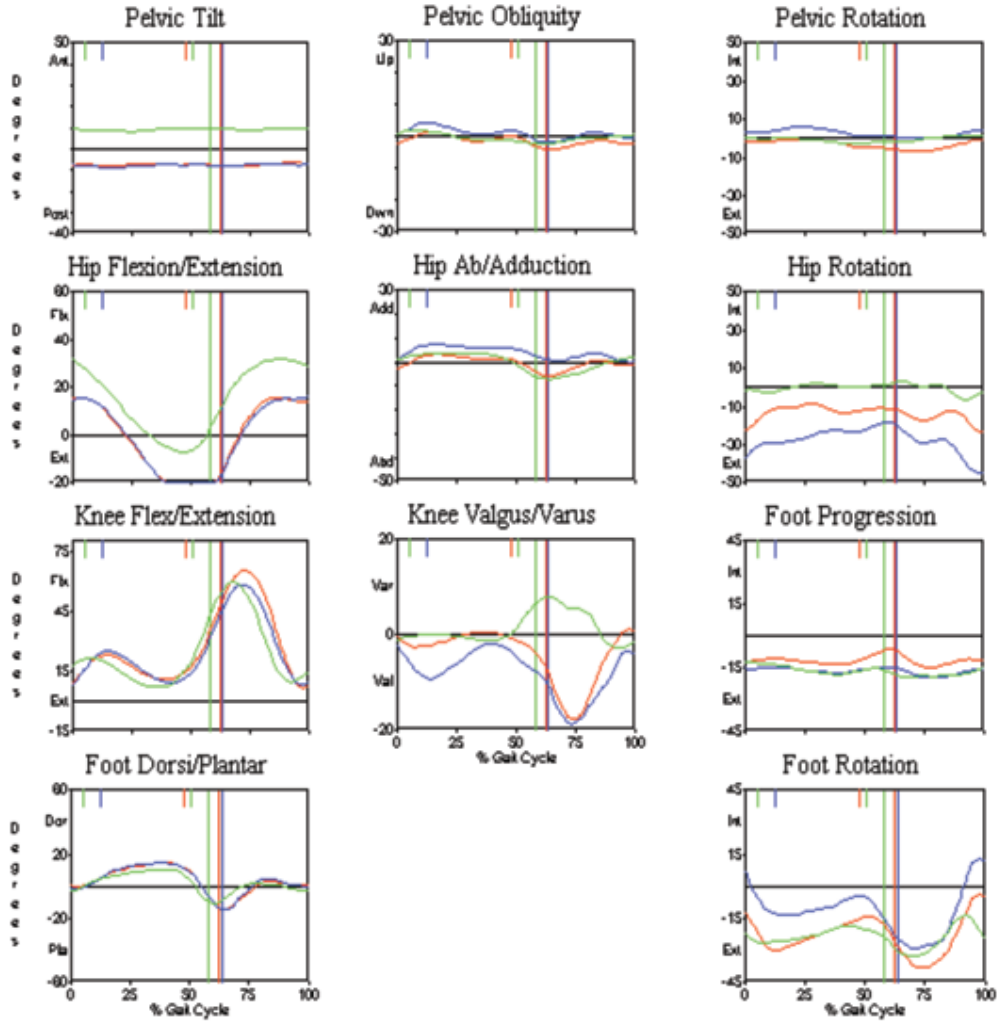
yürütülür ve bu sırada zamana bağlı veri toplanması tamamlanır. Hasta yürürken 3-9 adet kamera her belirtecin niceliksel spatial konumunu kaydeder. Her belirtecin sistem tarafından otomatik ve açık bir şekilde algılandığı deneme en iyi veri olarak tanımlanır. Bazı laboratuvarlar denemelerden elde ettikleri verilerin ortalamasını alır. Yer tepkime kuvvetinin üç bileşeni kuvvet plakları tarafından hasta üzerine bastıkça kaydedilir. Yer tepki kuvvetleri ve kinematik veriler ters dinamiklerle bir araya getirilerek kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin momentleri ve kuvvetleri üçboyutlu olarak hesaplanır. Kaydedilen veriler daha sonra yorumlama için işlemden geçirilir. Klinik olarak geçerliliği gösterilmiş biyomekanik model, kalça merkezi konumlarını, segment oryantasyonlarını ve üçboyutlu eklemler açılı ile momentlerini hesaplamak için hastaya özgü ölçümlerden elde edilen hareket, kuvvet platformu ve EMG verilerini birleştirir.

Tablo 1. Yürümenin zaman-mesafe parametreleri

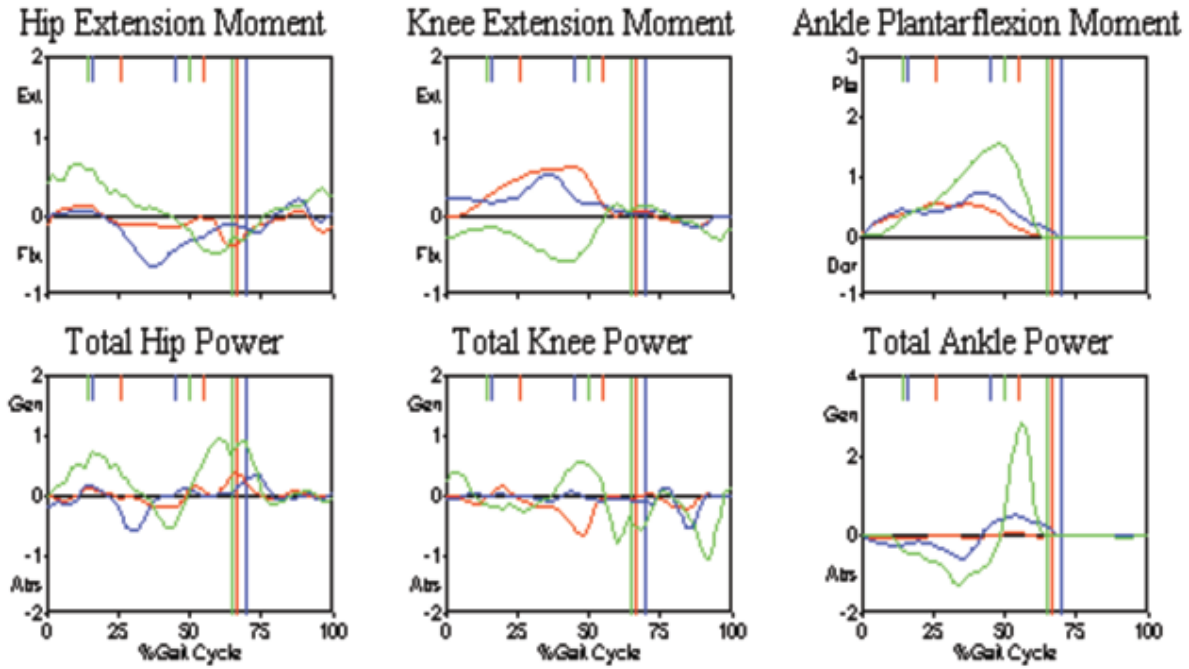
Tempo (adım/dk)
Yürüme hızı (m/sn)
Çift adım süresi (sn)
Adım süresi (sn)
Tek destek (%)
Çift destek (%)
Çift adım uzunluğu (m)
Adım uzunluğu (m)

Zaman-mesafe parametreleri

Yürümenin zaman-mesafe parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Zaman-mesafe ölçümlerini kullanarak tedavi etkilerinin kaydedilmesi hastanın yürüme becerisi hakkında yararlı bilgiler sağlar; bu işlem klinik değerlendirmeyi ve hastanın işlem hakkındaki izlenimlerini objektif biçimde destekler ve güçlendirir.



Şekil 2. Yürüme sırasında üç düzlemde eklemlerin kinematiği grafikleri.



Şekil 3. Yürüme sırasında sagittal düzlemde eklem hareket ve güç grafikleri.

Ancak, zaman-mesafe ölçümleri karmaşık bir hareket modelinin yalnızca son ürünleridir; yürüme şeklini açıklayamadığı gibi, esas yürüme bozukluğu ile kompensasyonu da birbirinden ayırt edemez.

Kinematik

Kinematik, ekstremité segmentini ve eklem hareketini tanımlar. Kinematik veriler eklem ve vücut segmentlerinin hareketlerini, doğrusal ve açısal yer değişimini, hız ve ivmelerini tanımlar, ancak hareketin nedenlerini yansıtmaz. Kinematiği ölçmek için elektrogonyometre, yürüme “halıları”, manyetik sistemler ve optik sistemler kullanılır. Günümüzde yürüme laboratuvarlarında kinematik ölçümünde en çok kullanılan teknik, optoelektronik sistem olarak bilinen ve yürüme sırasında üç düzlemde her bir ekstremité segmenti ve eklem hareketini değerlendirebilen gelişmiş bilgisayarlı bir video kamera sistemidir (Şekil 2). Kinematik grafiklerden hareket açıklığı, başlangıç şifti, tepe ve çukur noktaların zamanlamaları ile çizginin şekli değerlendirilir. Bu grafiklerde amplitüd çok önemli değildir, esas olarak tepe ve çukur noktaların zamanlamaları ile çizginin şekline dikkat edilir.

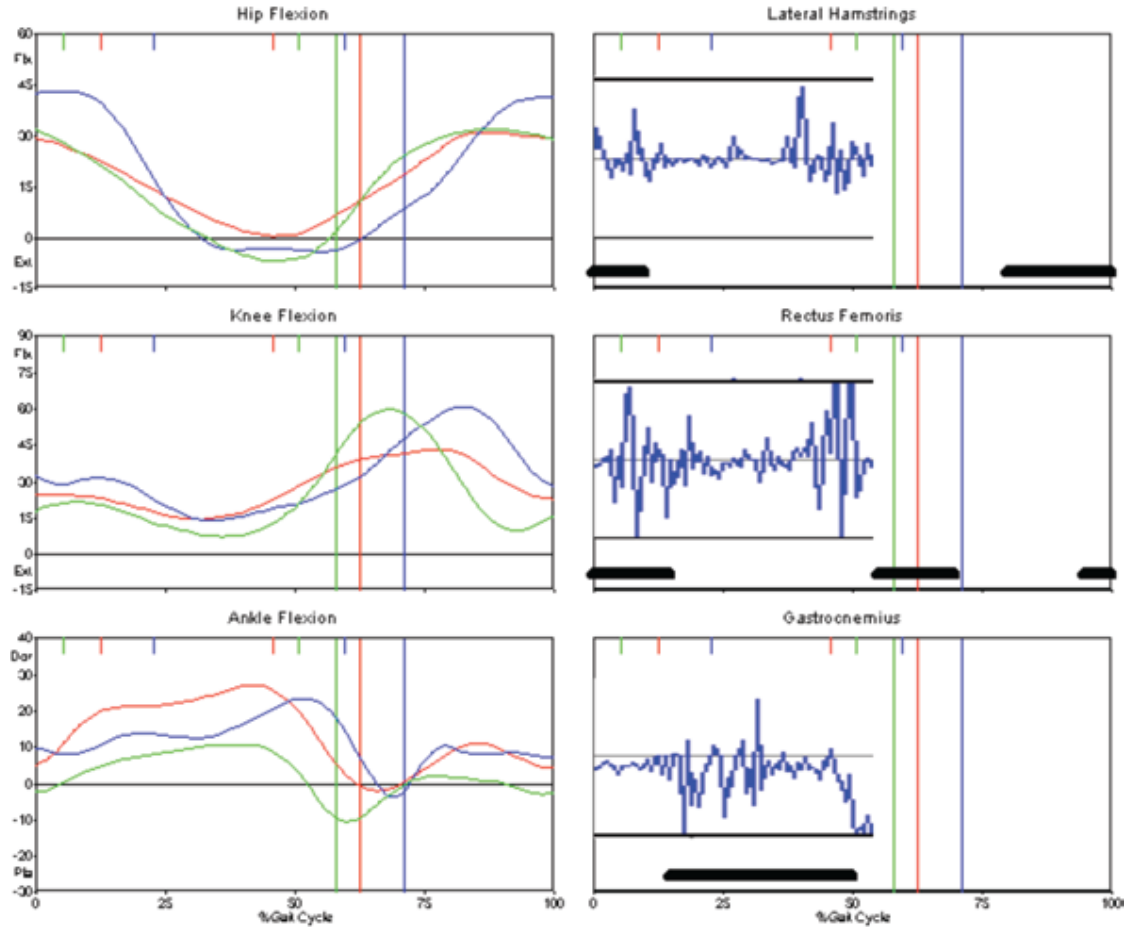
Pelvis kinematiğinin yorumlanması gövdenin telafi edici hareketlerini ayırt etmeye yardımcı olur. Anormal derecede fazla bir pelvis rotasyonu, genellikle kalça ya da diz sorunları nedeniyle kısa adım

atan hastalarda alınan mesafeyi artırma çabasına dayanan bir telafi hareketi olarak görülür. Pelvisin ve üst gövdenin aşırı hareketi, güçsüzlüğün telafisi olduğu kadar, öne ilerlemeye yardımcı bir “motor” görevi de görür. Pelvis hareketinin kontrolü tüm vücut dengesini korumada çok önemlidir; çünkü, başın, kolların ve gövdenin ağırlığı pelvis üzerinden aşağıya etki eder. Frontal düzlemde üst beden hareketlerinin kinematik ve kinetik incelemeleri, gövdenin tamamen pelvisin hareketi tarafından kontrol edildiğini ve büyük oranda bu harekete bağımlı olduğunu göstermiştir. Alt ekstremitelerin fonksiyonu azaldıkça, pelvis ve üst beden hareketi de artar.

Kinetik

Kinetik eklem hareketi ve gücünün ölçümünü tanımlar. Eklem hareketi ve gücü kuvvet plaklarından elde edilen YTK verilerinden hesaplanır. Kuvvet plakları yürüme yolu boyunca yerleştirilir ve YTK piezoelektrik ya da gerilim ölçer (strain gauge) transdüserler yoluyla kaydedilir. Dikey yer tepkime kuvvetleri, çoğunlukla yürüme hızı tarafından belirlenen ağırlık merkezinin dikey düzlemde yukarı ve aşağı hareketi nedeniyle, vücut ağırlığının üstünde ve altında değişiklik gösterir.

Daha sonra, YTK verileri ile kinematik verilerin bir arada değerlendirilmesiyle eklem momentleri ve güçleri hesaplanır (Şekil 3). Kinematik veriler arasın-



Şekil 4. Yürüme sırasındaki dinamik elektromiyografi kayıtları.

da, her bir andaki eklem ve vücut segmentlerinin konumu, hızı ve ivmesi, vücut segmentlerinin tahmini kütleleri ve eylemsizlik (inertia) momentleri bulunur. Hesaplamalarda ters dinamik fiziği ve iskelet-kas sisteminin basitleştirilmiş modelleri kullanılır. Eksternal eklem momenti (Nm/kg) eklem uygulanan net eksternal yüküdür (yer tepkime kuvvetleri, segmental ağırlık ve eylemsizlik); internal eklem momenti ise eklem etrafında belirli bir yönde oluşan tüm kas hareketlerinin toplamıdır (kaslardan, ligamanlardan ve eklem kapsüllerinden gelen kuvvetler). Net eklem momenti hangi kasın baskın olduğunu gösterirken, aynı zamanda pasif yapıların, kas kontraktürünün katkısını da içerir. Eşzamanlı kontraksiyonlu (co-contraction) eklem kinetiği baskınlığı gösterir, bu da agonistlerin hem de antagonistlerin tedavisini dengelemede önemlidir. Eklem momenti herhangi bir zamanda hangi kasların hareket ettiğini gösterir; ancak, nedenini söylemez. Mekanik gücü hesaplamak için eklem momentiyle eklem açısal hızı birleştirilir.

Tüketilen net güç (= net eklem momenti x açısal hız W/kg) eksentrik kas kontraksiyonu, üretilen net güç ise konsantrik kas kontraksiyonunu gösterir. Kalçanın abduksiyon momenti, dizin fleksör momenti (kuadrisepsten kaçınma davranışı), dizin adduksiyon momenti (diz osteoartriti), ayak bileğinin plantar fleksiyon momenti (double bump) çeşitli girişimlerin sonuçlarını değerlendirmede kullanılan en yaygın parametrelerdir.^[12-28] Yük taşıma becerisi, dikey yer tepkime kuvvetleri açısından kuvvet plaklarıyla güvenilir şekilde ölçülebilir ve inme geçiren hastalarda sonuç değerlendirme ölçütü olarak kullanılabilir.^[21,27]

Dinamik elektromiyografi

Dinamik EMG kayıtları, yürüme sırasındaki kas hareketlerinin zamanlaması ve süresi hakkında bilgi verir (Şekil 4). Yüzelektrodları veya ince tel elektrodlar tarafından kaydedilen elektriksel kas hareketleri, uygun amplifikasyondan sonra kablo veya radyodalga telemetriyle bilgisayara iletilir. Dinamik EMG ile, bir kasın eksentrik, konsantrik ya da izomet-

rik nitelikteki istemli ya da istemsiz hareketine ilişkin elektriksel sinyali ölçülebilir. Dinamik EMG verileri, eklem kinetik verilerinin yorumlanmasında eklem momentinin (kaslar, eklem kapsülü veya ligamanları) kaynağını göstermesi bakımından rol oynar ve agonist ve antagonist kasların göreceli katkılarını belirlemek için kullanılabilir. Çoğu ana kas grubu yürümenin basma ve salınım fazlarının başlangıç ve bitişi sırasında (geçiş süreleri) aktiftir. Basma ortası ve orta salınım fazlarında ise, ayak bileğinin hareketini kontrol eden kaslar dışında, çoğu kas elektriksel olarak sessizdir. Elektromiyografi sinyali, elektrodların çekim alanı dahilindeki motor ünitesi hareket potansiyelinin toplamıdır. Dinamik EMG raporunda, kas kontraksiyonunun zamanlaması, aktivite süresi ve başlangıçtan tepe noktasına kadar tüm aktivite süresi yer alır. Dinamik EMG ile belirlenebilen parametreler şunlardır: (i) Her kasın momente olan göreceli katkısı; (ii) net momentin sıfır olabildiği eşzamanlı kontraksiyon; (iii) kas kontraksiyonunun zamanlaması - uygunsuz ya da prematür hareketler (spastisite); (iv) yorgunluk - spektral analiz yardımıyla (Hızlı Fourier Dönüşümü): Ortalama güç frekansı yorgunlukla beraber düşer; (v) tanı - Duchenne kas distrofisi, miyastenia gravis, Lou Gherig hastalığı; (vi) seçici dorsal rizotomi sırasında alınan bilgiler. Kas kuvveti doğrudan göreceli sinyal şiddetinden hesaplanamaz. Elektromiyografi amplitüdü kas kuvvetiyle ilişkiliyse de, ona eşit değildir.^[1,2,4]

Verilerin yorumlanması

Verilerin yorumlanması yürüme analizinin en zorlu aşamasıdır. Bilgisayarlı yürüme analizi yürüme parametreleri ile ilgili kesin, objektif veriler oluşturuyorsa da, bu verilerin yorumlanması (birçok tanı sürecinde olduğu gibi) subjektif ve dolayısıyla değişkendir. Yürüme laboratuvarlarında kullanılan bütün yazılımlar çok renkli ve çekici çıktılar verir ve laboratuvarında çalışan ekipten verilerin yorumlanması ve hangi girişimin hasta için daha iyi olduğu konusunda yorumda bulunması istenir. Hastanın ayrıntılı öyküsü ve fizik muayene bulguları, yürüme verileri ve ekibin uzmanlığıyla birleştiğinde klinik karar alma sürecine yardımcı olabilir. Ayrıca, fonksiyonel değerlendirme ölçekleri de laboratuvar sonucunun fonksiyonel sonuca dönüştürülmesinde yardımcı olur.

Üçboyutlu niceliksel yürüme analizinin kısıtlılıkları

Yürüme analizinin temel kısıtlılıkları ve gereksinimleri, laboratuvarında kısa yürüme yolunda belirteç

ve elektrodlarla yapılan yürümenin yapaylığı, yoğun emek, yüksek maliyet gerektirmesi ve iyi eğitilmiş bir ekip ihtiyacıdır.^[7] Ekip üyeleri veri toplama, analiz ve yorumlama sırasında son derece dikkatli olmalı; sayısız potansiyel hata kaynağının farkında olmalıdır. Potansiyel hata kaynakları, elektrot ve belirteçlerin türü, büyüklüğü ve yerleşimi; yaş, vücut yapısı, büyüme ve stresin yürüme verileri üzerindeki etkisi; sistem hataları, artefakt ve kalibrasyon hataları ve değerlendirmecinin yanlılığıdır. Bunların çoğu dikkatsizlik ya da yetersiz eğitimden kaynaklanır. Ölçümlerin güvenilirliği, kameraların günlük olarak kalibre edilmesine, belirteçlerin yerleşimine özel dikkat gösterilmesine, ekibin düzenli olarak eğitimden geçmesine ve sistemin düzenli olarak güncellenmesine bağlıdır. Steinwender ve ark.^[29] yürüme verilerinin tekrarlanabilirliğinin normal çocuklara oranla spastik çocuklarda daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Biz de, normal yetişkinlerde^[30] ve inmeli hastalarda^[31] yürüme analizi sonuçlarımızın tekrarlanabilirliğini göstermiştik. Hataları en aza indirmek için, kameraların günlük olarak kalibre edilmesine, belirteçlerin yerleşimine, belirteçlerin hastanın üzerindeki giysiyle örtülmemesine ve yüzeysel (cilt) hareketini en aza indirmeye dikkat edilmelidir. Verileri yorumlamadan önce, grafiklerin işaretlenme sistemine (laboratuvarından laboratuvara değişir), çift adımlar arası uyuma ve hastanın yürüme hızına (yürüme hızı tepe momentini ve güç amplitüdlarını etkiler) dikkat edilmelidir. Tedavi öncesi ve sonrası veya yalınayak ve ortotikle yürüme arasında karşılaştırmalar yapılırken, özellikle sağ ve sol tarafın verileri farklı yürüme denemelerinden alınmışsa ya da veriler farklı günlerde kaydedilmişse, hız farkı olup olmadığına bakılması önerilir. Her laboratuvarın hastaların verilerini karşılaştıracak kendine ait örnek verileri olmalıdır.

Farklı laboratuvarlar arasında genel olarak kabul görmüş standartlar veya sonuçların karşılaştırmalı analizleri yoktur. Yürümenin kinematik, kinetik ve motor kontrol özelliklerinin karmaşık yapısıyla ilgili daha iyi eğitim verilmesi ve standart bir terminoloji oluşturulması, verilerin şu anda sınırlı olan anlaşılmasını daha iyi bir noktaya getirebilir. Farklı yürüme bozukluklarının değerlendirilmesi ve tedavisinde belirli yürüme analizi tekniklerinin seçimi ve uygulanması hakkında kılavuzlara ihtiyaç vardır. Bir klinik yürüme analizi laboratuvarı kurulmak isteniyorsa, laboratuvarın misyonu (klinik mi, araştırma mı, yoksa her ikisine yönelik mi olacak; hedef kitle), donanım

(zaman-mesafe verisi, hareket ölçümleri, kuvvet platformu, EMG, ayak basıncı ölçümü) ve minimum ekip (veri toplayıcı, teknik sorumlu, yorumlayıcı) önceden tartışılmalıdır. Gelecekte beklenenlerimiz, tedavi uygulayanlar için güvenilir, evrensel bir değerlendirme tekniği oluşturulması; sağlık sistemi, hastalar ve aileleri için maliyetlerin düşürülmesi; klinik ve araştırmaya yönelik etkinliğin gösterilmesi ve iletişimi geliştirmek için terminolojinin standart bir hale getirilmesidir.

Sonuç olarak, tanımlayıcı ve deneysel çalışmaların sonucunda üçboyutlu niceliksel yürüme analizi, normal yürüme anlayışımızı geliştirmiş, patolojik yürümenin biyomekanik ve motor kontrol anormalliklerini tanımlayarak ölçülebilir hale getirmiş ve tedaviye yönelik çeşitli girişimlerin yararlarını ortaya koymuştur. Yürüme analizinin hasta bakımını nasıl daha iyi hale getirebileceğini ve üçboyutlu niceliksel yürüme analizi çalışmalarının bazı yürüme bozukluklarının patomekaniğinin tanınması ve saptanmasında ne kadar yararlı olduğunu gösterecek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. Thorfare, NJ: Slack; 1992.
- Özaras N, Yalçın S, editörler. Yürüme analizi. İstanbul: Avrupa Tıp Kitapçılık; 2001.
- Esquenazi A, editor. Gait analysis. Physical medicine and rehabilitation, state of the art reviews. Vol. 16, No: 2. Philadelphia: Hanley & Belfus; 2002.
- Adams JM, Perry J. Gait analysis: clinical application. In: Rose J, Gamble JG, editors. Human walking. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994. p. 139-64.
- Craik RL, Oatis CS, editors. Gait analysis: Theory and application. St. Louis: Mosby; 1995.
- Gage JR. Gait analysis in cerebral palsy. Oxford: Mac Keith Press; 1991.
- Kerrigan DC. Introduction/Prologue. In: DeLisa JA, editor. Monograph 002: Gait Analysis in the science of rehabilitation. Washington, DC: Veterans Health Administration; 1998.
- Güler HC. Yürüyüş analizi: Temel kavramlar ve uygulama. In: Beyazova M, Gökçe-Kutsal Y, editörler. Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon. Ankara: Güneş Kitabevi; 2000. s. 401-26.
- Kawamura CM, de Moraes Filho MC, Barreto MM, de Paula Asa SK, Juliano Y, Novo NF. Comparison between visual and three-dimensional gait analysis in patients with spastic diplegic cerebral palsy. Gait Posture 2007;25:18-24.
- Desloovere K, Molenaers G, Feys H, Huenaerts C, Callewaert B, Van de Walle P. Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? Gait Posture 2006;24:302-13.
- Davis RB III, Öunpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. Hum Mov Sci 1991;10:575-87.
- Yavuzer G, Sonel B, Süldür N, Ergin S. Effects of intra-articular hyaluron G-F 20 injections on clinical and biomechanical characteristics of the knee in osteoarthritis. Int J Rehabil Res 2005;28:371-4.
- Yavuzer G, Ergin S. Effect of cane usage on clinical and gait characteristics of patients with osteoarthritis of knee. Romatizma 2002;17:150-5.
- Bilgiç A, Kamiloğlu R, Yavuzer G, Tuncer S. Effects of isokinetic exercise on gait biomechanics of patients with knee osteoarthritis. In: 2nd World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine; May 18-22, 2003; Prague, Czech Republic. p. 89.
- Bilgiç A, Kamiloğlu R, Yavuzer G. Association of obesity with biomechanical gait characteristics in patients with knee osteoarthritis. In: 2nd World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine; May 18-22, 2003; Prague, Czech Republic. p. 93.
- Gök H, Ergin S, Yavuzer G. Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. Acta Orthop Scand 2002;73:647-52.
- Öztürk E, Ataman Ş, Yavuzer G. Gait characteristics of patients with ankylosing spondylitis. In: 5th Mediterranean Congress of Physical and Rehabilitation Medicine; September 30-October 04, 2004; Antalya, Türkiye. p. 121.
- Yavuzer G, Yetkin I, Toruner FB, Koca N, Bolukbasi N. Gait deviations of patients with diabetes mellitus: looking beyond peripheral neuropathy. Eur J Neurol 2006;19:127-33.
- Yavuzer G, Sonel B, Kutlay Ş, Ergin S. Use of gait analysis in clinical decision-making process of patients with spastic cerebral palsy. Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 2005;51:1-5.
- Yavuzer MG. Walking after stroke: Interventions to restore normal gait pattern [Doctoral Thesis]. Rotterdam: Erasmus University; 2006.
- Yavuzer G, Eser F, Karakuş D, Karaoğlu B, Stam HJ. The effects of balance training on gait late after stroke: a randomized controlled trial. Clin Rehabil 2006;20:960-9.
- Yavuzer G, Geler-Külcü D, Sonel-Tur B, Kutlay S, Ergin S, Stam HJ. Neuromuscular electric stimulation effect on lower-extremity motor recovery and gait kinematics of patients with stroke: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil 2006;87:536-40.
- Gök H, Kutlay Ş, Kurtaiş Gürsel Y, Sonel B, Turan EB, Usar S ve ark. Parkinson hastalığında kinematik yürüme analizi ve klinik testler ile ilişkisi. Parkinson Hastalığı ve Hareket Bozuklukları Dergisi 2004;7:7-12.
- Ulkar B, Yavuzer G, Güner R, Ergin S. Energy expenditure of the paraplegic gait: comparison between different

- walking aids and normal subjects. *Int J Rehabil Res* 2003; 26:213-7.
25. Yavuzer G, Ulkar B, Binnet M, Ergin S. Gait deviations in patients with anterior cruciate ligament deficiency. In: 2nd World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine; May 18-22, 2003; Prague, Czech Republic. p. 101.
26. Gök H, Küçükdeveci A, Altınkaynak H, Yavuzer G, Ergin S. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait. *Clin Rehabil* 2003;17:137-9.
27. Yavuzer G, Ergin S. Effect of an arm sling on gait pattern in patients with hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83:960-3.
28. Yavuzer G. Interpretation of pathological gait: Typical deviations and possible causes. In: 5th Mediterranean Congress of Physical and Rehabilitation Medicine; September 30-October 04, 2004; Antalya, Türkiye. p. 21.
29. Steinwender G, Saraph V, Scheiber S, Zwick EB, Uitz C, Hackl K. Intrasubject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children. *Clin Biomech* 2000;15:134-9.
30. Yavuzer G, Oken O, Elhan A, Stam HJ. Repeatability of lower limb three-dimensional kinematics in patients with stroke. *Gait Posture* 2008;27:31-5.
31. Gök H, Ergin S, Yavuzer G. Reliability of gait measurements in normal subjects. *The Journal of Rheumatology and Medical Rehabilitation* 2002;13:76-80.